Introdução à hidráulica

Prof. Edir dos Santos Alves (FengPUC - RS)

1 - Simbologia

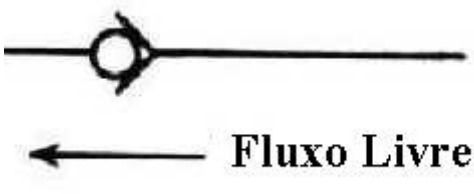
Os componentes hidráulicos são representados por símbolos para facilitar o desenho de circuitos hidráulicos. Na maioria da bibliografia liga à indústria os símbolos são baseados em normas conforme a nacionalidade da publicação, mas, em geral é usada a norma ISO 1219.

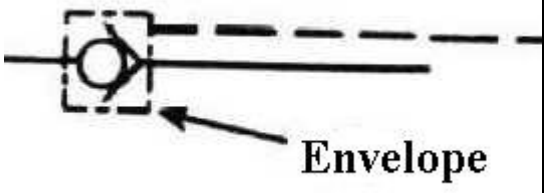
O objetivo dos símbolos é mostrar o tipo ou função da conexão de componentes e trajetórias de fluidos. Símbolos básicos podem ser combinados para formar um símbolo composto. Eles não dão a indicação do tamanho e não são orientados numa direção particular.

Onde um elemento de controle é mostrado sobre um componente este não representa a sua localização física verdadeira. É usual representar os símbolos em sua condição de não funcionamento, parado.

Uma seta transversal sobre um elemento hidráulico indica ajuste ou variação.	
Uma linha cheia representa uma linha de fluxo, ela não dá uma indicação da pressão na linha. Pode ser uma linha de sucção, pressão ou retorno ao tanque.	
Uma linha de drenagem é aquela que representa uma tomada do elemento para que o fluido retorne para o reservatório, é representa por linha tracejada com traço curto.	
Uma linha piloto, ou seja, que é usada para transmitir um sinal de pressão de um ponto a outro com vazão mínima é representada com linha tracejada com traço longo.	

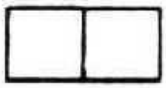
Na maioria das vezes as linhas de drenagem e piloto não são diferenciadas, porque são facilmente identificadas devido às suas aplicações. Uma linha de drenagem sempre tem uma representação do reservatório.

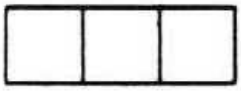
Uma válvula de retenção consiste de uma esfera ou carretel que é mantida fechada pela ação de uma mola. Verificar representação.	
Caso a pressão que a válvula de retenção deverá abrir seja crítica para o funcionamento do circuito, a mola que mantém a válvula de retenção fechada deverá ser representada.	

A válvula de retenção pode ser pilotada remotamente. Neste caso o piloto é usado para retirar do assento a esfera e permitir a passagem de fluido no sentido normalmente fechado da válvula. A válvula é conhecida como válvula de retenção pilotada.	
Similarmente, o piloto pode ser empregado para evitar que a válvula abra.	

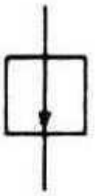
Válvulas de controle direcional são representadas com uma quantidade de retângulos; se existirem dois retângulos a válvula tem dois estágios ou posições que ela pode assumir.

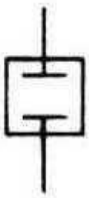
A representação da linha da tubulação de trabalho deve ser representada em apenas um dos retângulos; ela é representada naquela posição em que a válvula fica inoperante. Uma válvula com duas tomadas tem duas conexões e pode ser aberta ou fechada. Observar as duas formas de representação.

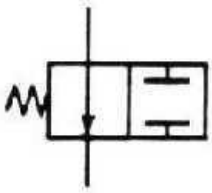

Duas posições


Três posições

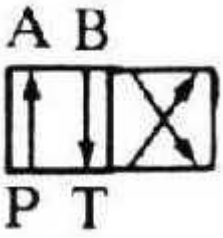
Efetuando a combinação das duas e fazendo que uma mola mantenha a válvula aberta, teremos uma representação como mostrado na figura abaixo .


Duas portas Normalmente Abertas


Duas Portas Normalmente Fechadas

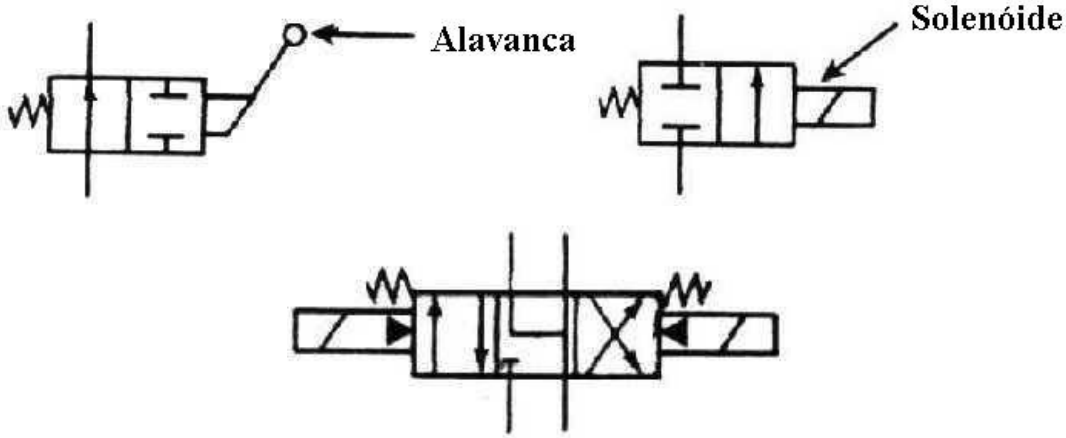


Uma forma mais conhecida de uma válvula de controle direcional é com quatro tomadas.

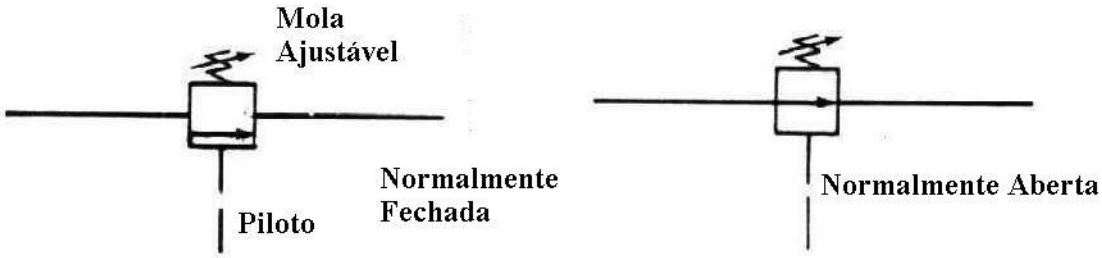


As tomadas (ou portas ou orifícios) são representadas por letras: P é o fornecimento ou pressão; T é retorno ou tanque; A e B são as tomadas de trabalho. No retângulo da esquerda P está conectado com A e B ao T, este é muitas vezes designado como "posição paralela". No lado direito do retângulo, P está conectado com B e A com T; isto inverte a conexão e é algumas vezes chamado de "posição cruzada". Para visualizar a operação de uma válvula de controle direcional imagine a tubulação de trabalho permanecendo fixa e a os retângulos efetuando movimento.

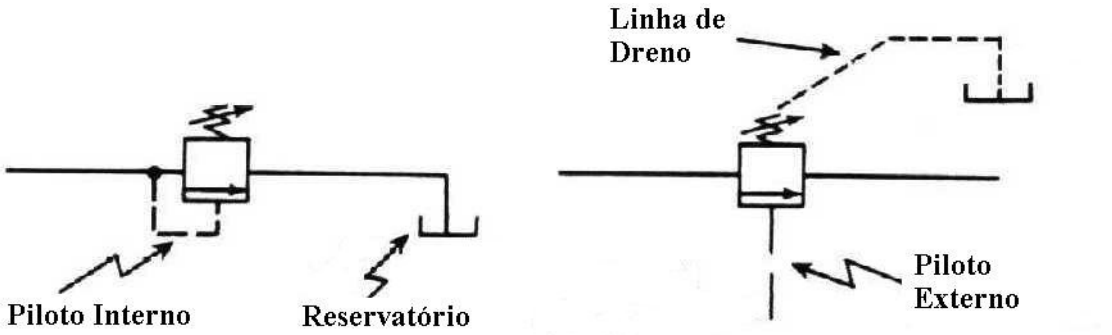
As válvulas direcionais podem ser operadas manualmente, mecanicamente, eletricamente, pneumaticamente ou hidraulicamente. O método de operação é mostrado na extremidade lateral do retângulo ao qual a válvula é operada, embora isto não represente uma posição física.



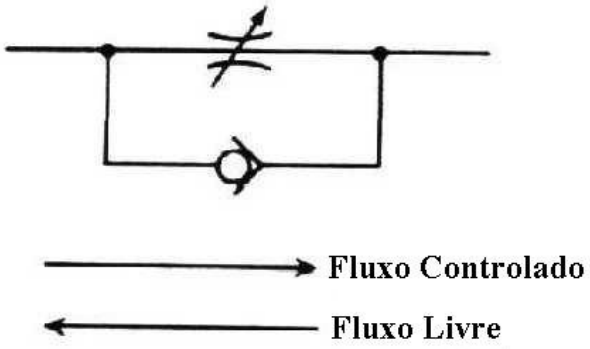
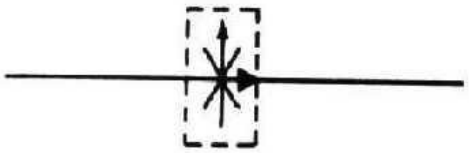
Uma válvula para controle de pressão pode ser normalmente aberta ou normalmente fechada. Uma válvula de controle de pressão é representada através de um único retângulo com uma passagem sobre ela. A condição de normal aberta ou fechada dependerá da função da válvula.



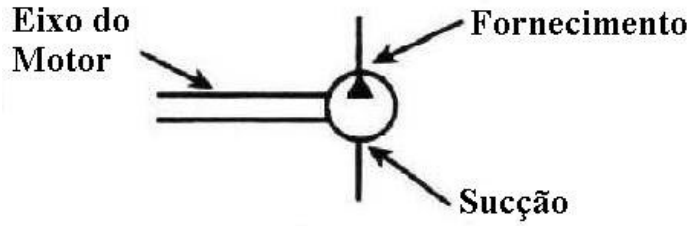
Uma mola ajustável mantém a válvula de controle de pressão em sua condição normal. Um sinal piloto atua contra a mola para mudar o estado da válvula quando a pressão piloto excede o valor de ajuste fixado na válvula pela mola de controle. O piloto pode ser estar localizado internamente ao corpo da válvula, ou de uma fonte remota.

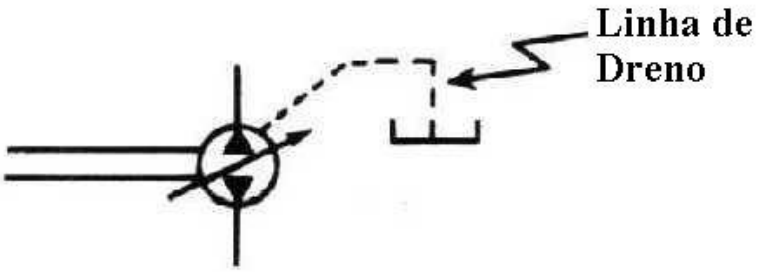
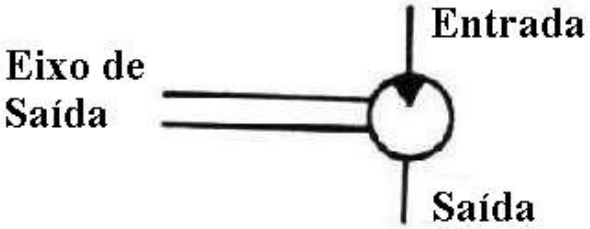
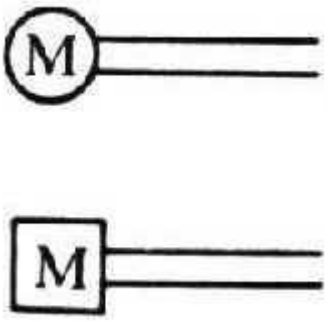


Uma válvula de controle de fluxo é mostrada como uma restrição na linha de fluxo. Se o controle do fluxo é ajustável, o mesmo é indicado por uma seta transversal. As mesmas podem controlar o fluxo em apenas uma direção; ou ter a capacidade de efetuar o controle do fluxo independente da pressão e viscosidade, chamada de válvula de controle de fluxo compensada.

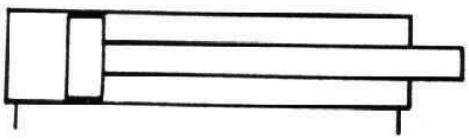
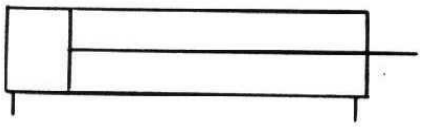
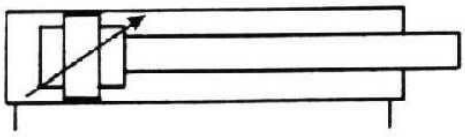
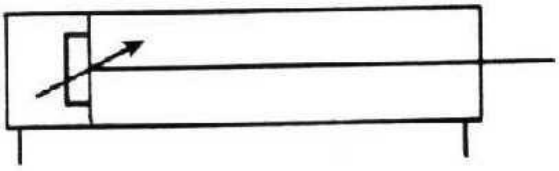
Bidirecional	
Unidirecional	
Controle de Fluxo Compensada	

Um símbolo formado por um circulo representa uma unidade rotacional (bomba hidráulica ou motor hidráulico). Um triângulo preenchido mostra a direção que o fluido escoa, para fora da unidade é uma bomba e para dentro é um motor.

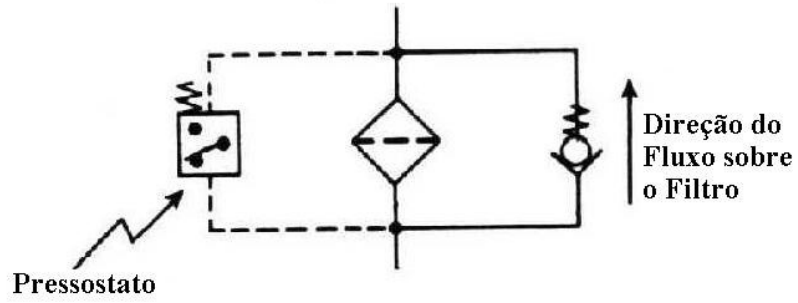
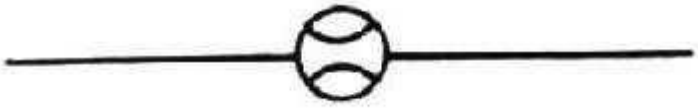
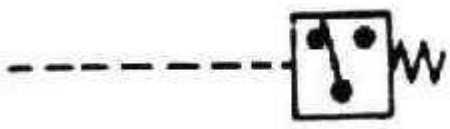
	Bomba hidráulica unidirecional de deslocamento fixo

	Bomba hidráulica reversível com deslocamento variável
	Motor hidráulico unidirecional de deslocamento fixo
	Motor elétrico e motor térmico

Um cilindro hidráulico é representado como corpo do cilindro, pistão e haste. Amortecedores são colocados nos cilindros para suavizar as paradas ao atingirem suas posições extremas e são representados junto com o pistão.

	Cilindro de dupla ação sem amortecimento
	Simbologia simplificada
	Cilindro de dupla ação com amortecimento
	Simbologia simplificada

Acessórios de condicionamento são representados através de losangos regulares.

	Filtro sem desvio
	Filtro com desvio
	Resfriador
	Aquecedor
	Rotâmetro
	Pressostato

Estes são alguns símbolos mais empregados. Uma vez que os princípios básicos estão entendidos,a a função do elemento que eles representam será facilmente identificada, especialmente quando considerado no contexto de um circuito específico. Fabricantes de equipamentos hidráulicos modificam e combinam os símbolos padronizados para indicar mais corretamente a operação de seus produtos.

2 - Fluidos hidráulicos

O fluido hidráulico, numa instalação hidráulica tem como função principal, transmitir forças e movimentos.

Através das várias possibilidades de utilização e aplicação dos acionamentos hidráulicos, exigem-se outras funções e propriedades dos fluidos hidráulicos.

Como não existe fluido hidráulico ideal para todos os campos de utilização, é necessário considerar características específicas na sua escolha. Só assim é possível uma operação econômica e sem falhas.

2.1 - Requisitos dos fluidos hidráulicos

O fluido hidráulico deve estar em condições de umedecer as peças móveis com uma película de lubrificação que não se rompa. A película de lubrificação poderá romper-se devido à pressões altas, alimentação insuficiente de óleo, baixa viscosidade e movimentos lentos ou muito rápidos de deslizamento. A conseqüência é desgaste por engripamento.

Além do desgaste por engripamento, poderá haver ainda desgaste por abrasão, por fadiga e por corrosão.

O desgaste por abrasão ocorre quando os fluidos hidráulicos estão sujos, não filtrados convenientemente, contaminados com partículas sólidas (por ex. abrasão por metais, carepa, areia etc.) ao separarem as peças deslizantes entre si. Do mesmo modo as partículas estranhas poderão ser transportadas por altas velocidades do fluido, e causarem abrasão nos componentes.

Através da cavitação pode-se alterar a estrutura nos componentes, levando-os ao desgaste por fadiga. Desgaste profundo poderá ocorrer nos mancais das bombas, através da contaminação do fluido hidráulico com água.

Através de paradas prolongadas da instalação hidráulica, e utilização de fluidos hidráulicos não apropriados, poderá ocorrer desgaste por corrosão. Forma-se a ferrugem por atuação da umidade sobre as áreas de deslizamento, e isto conduz ao desgaste acentuado dos componentes.

2.2 - Viscosidade

Como viscosidade entende-se a propriedade de um fluido hidráulico, à resistência contra o deslocamento laminar de duas camadas vizinhas do fluido hidráulico.

A característica mais importante na escolha de um fluido hidráulico, é a viscosidade. Ela não caracteriza a qualidade de um fluido hidráulico, mas define o seu comportamento numa determinada temperatura de referência. Para a escolha de componentes hidráulicos, é importante considerar os valores máximos e mínimos de

viscosidade, indicados nos catálogos dos fabricantes de componentes hidráulicos, devido ao limite de capacidade dos mesmos.

O fluido hidráulico também não deve, mesmo num extenso campo, ficar mais "viscoso" ou "menos viscoso", no caso de variações de temperatura, caso contrário iria variar a vazão em pontos de estrangulamento (alteração da velocidade dos consumidores).

Fluidos hidráulico com alto índice de viscosidade são necessários sobretudo em utilizações sujeitas à altas variações de temperatura, como máquinas de trabalho móbil, veículos e aviões.

A viscosidade de fluidos hidráulicos altera-se com o aumento da pressão. Nas pressões acima de 200 bar esta propriedade precisa ser observada no planejamento de instalações hidráulicas. Com aproximadamente 400 bar já pode ser alcançado um valor dobrado da viscosidade.

2.3 - Características importantes

A seguir, serão destacadas as qualidades e exigências para um fluido hidráulico num sistema hidráulico "exigente".

Compatibilidade com materiais: O fluido hidráulico deve apresentar uma alta compatibilidade com outros materiais utilizados em instalações hidráulicas, como materiais para mancais, vedações, pinturas etc. Este também é o caso, que o fluido hidráulico esteja vazando da instalação hidráulica, e entre em contato com outras partes como cabos elétricos, peças mecânicas etc.

Resistência contra solicitação térmica: O fluido hidráulico poderá aquecer-se durante a operação da instalação (se possível não acima de 80ºC). Nos tempos de parada o fluido hidráulico esfria novamente. Estes processos repetidos influem sobre a vida útil do fluido hidráulico. Por isso em muitas instalações, a temperatura de operação do fluido hidráulico, é mantida constante com trocadores de calor (aquecimento e/ou resfriamento).

A vantagem é uma curva característica de viscosidade estável e uma maior vida útil do fluido hidráulico. Como desvantagens devem ser citadas aqui os maiores custos de aquisição e operação (energia para aquecimento e água/ar para o resfriamento).

Resistência à oxidação: O processo de envelhecimento de óleos minerais sofre a influência do oxigênio, calor, luz e catalização. Um óleo mineral com alta resistência ao envelhecimento, possui inibidores de oxidação que evitam uma rápida recepção do oxigênio. Um aumento na recepção do oxigênio favorecerá adicionalmente a corrosão de peças construtivas.

Cobre, chumbo, bronze, latão e aço, tem efeito catalítico especialmente alto e influem sobre a vida do fluido hidráulico.

Estes materiais ou combinações de materiais encontram-se muitas vezes nos elementos construtivos hidráulicos.

Baixa compressibilidade: o ar solúvel transportado num fluido hidráulico condiciona a compressão da coluna do fluido hidráulico. Esta característica tem influência na precisão de acionamentos hidráulicos. Nos processos de comando e regulação, a compressibilidade influi nos tempos de resposta. Se grandes volumes sob pressão forem abertos rapidamente, ocorrem golpes de descarga na instalação. A compressibilidade do fluido hidráulico, o mesmo aumenta com temperatura ascendente e diminui com pressão ascendente.

Como valor teórico para óleo mineral, para cálculos práticos, pode-se adotar um fator de compressibilidade de 0,7 a 0,8% por 100 bar. Para o fluido "água" pode-se adotar um fator de 0,45% por 100 bar.

A compressibilidade sobe consideravelmente, quando é transportado ar não solubilizado (bolhas de ar). Através de tamanho incorreto do reservatório e construção errada do reservatório, bem como tubulação inadequada, o ar não solubilizado não consegue separar-se do fluido hidráulico, e com isto piora o fator de compressibilidade consideravelmente.

Baixa expansão por temperatura: Se o fluido sob pressão atmosférica for aquecido, aumenta o seu volume. Nas instalações com grande volume de preenchimento, a temperatura posterior de operação da instalação, deverá ser considerada.

Exemplo: O volume do óleo mineral cresce em 0,7% a cada 10ºC de aumento de temperatura.

Baixa formação de espuma: Pequenas bolhas de ar ascendente poderão formar espuma na superfície do reservatório. Através de uma correta montagem das tubulações de retorno no reservatório, e através de correta construção do reservatório, por ex. com chicanas (divisórias), pode-se minimizar a formação de espuma. Os óleos minerais possuem aditivos químicos que reduzem a capacidade de existirem espuma. A tendência na formação de espuma do fluido hidráulico aumenta através do envelhecimento, contaminação e água condensada.

Se a bomba succionar óleo espumante, poderão ocorrer pesadas falhas no sistema, e a rápida danificação da bomba.

Baixa absorção de ar e boa eliminação de ar: O fluido hidráulico se possível, deve absorver e transportar pouco ar, mas eliminar rapidamente o ar absorvido. Aditivos químicos favorecem grandemente esta exigência. A capacidade de eliminação do ar piora com o aumento de temperatura do fluido hidráulico.

Alto ponto de ebulição e baixa pressão de vapor: Quanto mais alto for o ponto de ebulição do fluido hidráulico utilizado, tanto maior poderá ser a temperatura máxima de operação da instalação.

Alta densidade: Como densidade de um fluido hidráulico, entende-se a relação de sua massa para o seu volume. Preferivelmente a densidade deveria ser alta, para transmitir uma potência maior com o mesmo volume do fluido hidráulico. Em acionamentos hidrostáticos esta consideração é menos importante do que nos acionamentos hidrodinâmicos. A densidade dos óleos minerais está entre 0,86 e 0,9g/cm□ .

A densidade é necessária para a conversão da relação (viscosidade/densidade) viscosidade cinemática para a viscosidade dinâmica, ou vice-versa.

Boa condutibilidade térmica: O calor gerado nas bombas, válvulas, motores, cilindros e tubulação, deverão ser transportados para o reservatório pelo fluido hidráulico. O reservatório irradia parcialmente o calor gerado para o ambiente, através das paredes do mesmo. Se as superfícies de irradiação não forem suficientes, precisam ser previstos adicionalmente trocadores de calor (resfriadores) na instalação, para evitar superaquecimento da instalação e do fluido hidráulico.

Não ser higroscópio (não atrair umidade): Em instalações, que operam com óleos minerais, precisa-se cuidar que o óleo permaneça isento de água, porque podem ocorrer falhas que levam à parada da instalação. A água poderá invadir através das vedações dos cilindros e eixos, através de trocadores à água não estanques e umidade

do ar condensada nas paredes do reservatório. Também no preenchimento do reservatório, poderá estar contido no tambor do fluido hidráulico, a água condensada. Se o teor de água for maior que 0,2% do volume total, precisa ser feita a troca do fluido hidráulico. Uma separação da água do fluido hidráulico, poderá ser realizada com o auxílio de separadores ou centrífugas, durante a instalação em funcionamento (principalmente em grandes instalações).

Em instalações que operam ao ar livre (maior umidade do ar e chuva), monta-se um secador de ar junto com filtro de ar, o qual seca o ar necessário (devido a compensação do volume).

Como a água tem um peso específico maior, esta poderá permanecer no fundo do reservatório (óleo mineral e água não se misturam quimicamente e podem voltar a se separar).

Se o reservatório tiver um indicador passante de nível (entre a superfície livre até o fundo), pode-se perceber claramente a existência da água. Se o registro de dreno no reservatório for aberto cuidadosamente, a água sairá primeiro. Em instalações grandes, muitas vezes é montado um sinalizador de água, no ponto mais baixo do reservatório, que emite um sinal elétrico para um nível de água ajustável.

Difícil ignição (não inflamável): Instalações hidráulicas também são aplicadas em locais mornos e quentes, com locais de produção que operam com chama viva, ou temperaturas bem altas. Para calcular o risco de ruptura de tubos e/ou mangueiras. Nestes casos de aplicação são utilizados fluidos hidráulicos com alto ponto de ignição, de difícil inflamabilidade ou fluidos não inflamáveis.

Fluido não venenoso (baixa toxidade, quanto ao vapor e após a sua decomposição): Para evitar periculosidade da saúde e do ambiente através dos fluidos hidráulico, devem ser observadas as instruções específicas na documentação dos fabricantes de fluidos hidráulicos.

Boa proteção contra a corrosão: Os fabricantes de bombas, válvulas, motores e cilindros, testam os mesmos com óleo mineral, que provocam nos componentes uma proteção anti-corrosão. A capacidade de proteção anti-corrosão de óleos minerais, é obtida através de aditivos químicos, que formam uma película repelente à água nas superfícies metálicas e quando do envelhecimento do óleo mineral neutralizam os produtos de decomposição corrosiva.

Após o teste dos componentes hidráulicos, o óleo mineral restante é conduzido ao reservatório. A película de óleo mineral nos componentes protege os mesmos contra a corrosão até a colocação em operação. Numa estocagem mais prolongada dos componentes, devem ser tomadas providências especiais contra a corrosão (por ex. através de óleos de conservação).

Nenhuma formação de substâncias pegajosas: O fluido hidráulico, durante os tempos de parada da instalação hidráulica ou durante a operação, assim como no aquecimento e resfriamento, e também através do envelhecimento, não deve formar substâncias, que levem à "adesão" de peças móveis dos componentes hidráulicos.

Facilidade para filtragem: O fluido hidráulico de um equipamento hidráulico é filtrado permanentemente durante a operação, na entrada ou retorno ou nos dois sentidos, para retirar as partículas sólidas do fluido hidráulico. O fluido hidráulico e sua viscosidade, tem influência sobre o tamanho do filtro e o material da malha do filtro.

Com o aumento da viscosidade, aumenta a contra-pressão (Δp). Com isto deverá ser previsto um filtro maior. Para os fluidos hidráulicos agressivos, necessita-se de materiais especiais para o elemento filtrante.

Os aditivos contidos nos fluidos hidráulicos, não devem sedimentar-se nos filtros. Se nos equipamentos forem usados filtros bem finos de 5□ m de abertura de malha ou menores, deve-se analisar o fluido hidráulico quanto à sua aptidão para estas condições de aplicação.

Compatibilidade para troca com outros fluidos hidráulicos (troca de óleo): Através de mudança ou modificação da linha de produtos, condições ambientais alteradas ou novas leis, poderá ser necessário proceder a troca do fluido hidráulico. Nestes casos os fabricantes dos fluidos hidráulicos e dos componentes hidráulicos deverão ser consultados, quanto à compatibilidade do fluido hidráulico e os componentes montados no equipamento hidráulico, para as novas condições de aplicação.

Há casos em que todos os componentes, vedações e mangueiras, precisam ser completamente desmontados e limpos do fluido hidráulico antigos. Quando não feito num procedimento correto, estes casos podem levar à falha total do equipamento hidráulico.

Formação de lama: Os fluidos hidráulicos e seus aditivos, durante todo o tempo de operação, não devem sedimentar-se e levar à formação de lama (efeitos de adesão).

Manutenabilidade: Os fluidos hidráulicos necessitam de altos investimentos de manutenção, os quais por ex. após tempos mais longos de parada, precisam ser novamente revolvidos e misturados. Fluidos hidráulicos nos quais os aditivos perdem rapidamente suas características ou volatizam-se precisam ser controlados mais vezes química ou fisicamente.

Por processo simples, deve ser possível o controle do fluido hidráulico. Em situações extremas, os fabricantes do fluido hidráulico e do filtro, podem analisar amostras sobre a permanência ou troca do mesmo.

Defesa ao meio ambiente: A melhor defesa para o ambiente, na utilização de equipamentos hidráulicos, é obtida pelo planejamento, construção, fabricação, operação e manutenção corretas.

A utilização de fluidos hidráulicos não agressivos ao meio ambiente, não substituem o parágrafo anterior (ISO 14000).

Os fluidos hidráulicos devem cumprir os seguintes requisitos:

- Boa degradabilidade biológica,
- Fácil descarte,
- Nenhuma toxidade para os peixes,
- Nenhuma toxidade bacteriológica,
- Nenhuma periculosidade para água,
- Nenhum perigo para os alimentos,
- Nenhum perigo para a forragem,
- Nenhuma irritação para a pele e a mucosa através do fluido em todas as três formas de estado (sólido, líquido, gasoso) e falta ou pelo menos cheiro agradável.

Custos e disponibilidade de compra: basicamente deveriam ser utilizados fluidos hidráulicos, que tenham preço vantajoso e que tenham alcançado boa distribuição. Isto

é especialmente importante para locais de aplicação de equipamentos hidráulicos em regiões não industrializadas.

O catálogo de avaliação necessário, só poderia ser elaborado de modo imperfeito. A escolha de um fluido hidráulico sob pontos de vista econômicos, só poderá ser feita pesando-se os custos de operação e dos custos das conseqüências. Por isso é importante, estar informado sobre as características físicas e químicas do fluido hidráulico, para evitar falhas em novos projetos, reposição ou consertos.

Bombas Hidráulicas

1 - Bombas hidráulicas

O elemento de conversão em energia hidráulica é o elemento chave num sistema hidráulico: a bomba hidráulica. Num sistema pneumático a conversão em energia pneumática é feita pelo compressor de ar. A energia primária é normalmente convertida por um motor elétrico ou um motor térmico (motor de combustão interna). Na indústria é mais empregado um motor elétrico. O motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica (torque e rotação) sendo seu eixo diretamente acoplado ao eixo da bomba que converte a energia mecânica em "energia hidráulica" (cria a vazão).

A maioria das bombas recebem fluido de um reservatório e bombeá-lo até um atuador carregado-o de tal forma que o mesmo (atuador = cilindro/motor hidráulico) possa desempenhar seu trabalho mecânico. As bombas, disponíveis comercialmente, podem fornecer vazões baixíssimas até valores superiores a 50 l/min. Elas são capazes de suportar (ao fornecer vazão para o sistema) faixas de pressão entre 30 - 1000 bar na sua tomada de saída. Para aplicações industriais, as pressões máximas ficam em torno de 350 - 450bar; pressões elevadas são necessárias para dispositivos de teste ou simulação, tratando-se de casos especiais.

Importante: A bomba não cria e nem manda pressão para os atuadores. Ela apenas movimenta o fluido, causando a vazão. A pressão eleva-se em função da dificuldade que o mesmo encontra para escoar; caso não exista carga para o atuador, o fluido escoará sob pressão muito baixa. Como a resistência (carga) atua sobre o fluido, a pressão indicada na tomada de saída da bomba eleva-se até um valor, que é normalmente indicado como a pressão máxima da bomba. Logo, uma bomba de 200bar é uma unidade que pode manter um fluxo contra uma carga de 200bar.

As bombas empregadas nos sistemas hidráulicos são as bombas de deslocamento positivo. Os tipos construtivos mais comumente empregados, por razões tecno-economicas, são as bombas de engrenagens (engrenamento externo), de palhetas e de pistões axiais.

Os parâmetros mais importantes, referentes a determinação da capacidade e as características técnicas das bombas hidráulicas são: pressão máxima, vazão máxima, rotação e rendimento.

Pressão: A faixa de pressão de uma bomba é geralmente limitada pela capacidade da bomba em suportar uma determinada pressão sem que se verifique um indesejável aumento de vazamentos internos e sem perigo ao conjunto mecânico (mancais, rotor, carcaça, etc.) Em geral, as bombas de engrenagens externas e de palhetas suportam uma pressão máxima entre 130 a 250 bar. Bombas de engrenamento interno suportam pressões

inferiores entre 100 - 150 bar. As bombas de pistão suportam elevadas pressões, chegando até 350 bar.

Vazão: A segunda consideração mais importante na seleção de uma bomba é o seu tamanho (deslocamento) e o fornecimento de fluido. O deslocamento significa o volume fornecido pela bomba quando a mesma realiza um volta completa em seu eixo de acionamento. Geralmente é expressa em cm3/rot. Muitas vezes faz-se referência ao tamanho da bomba, como a vazão volumétrica de saída, em litros por minuto (l/min). Outras formas de referir-se a mesma capacidade é fluxo.

A quantidade de vazão de uma bomba está baseada no seu desempenho em condições específicas. Por exemplo, bombas com aplicações em veículos (tratores, escavadeiras etc) são geralmente testadas em 1.200 rpm sob uma pressão de saída de 100bar e pressão atmosférica na entrada. Os fabricantes, fornecem em seus catálogos os dados de desempenho das bombas em formas de tabelas ou gráficos, indicando as condições do óleo (viscosidade e temperatura), rotação e pressão.

Rotação: A terceira consideração é a taxa de rotação do eixo de acionamento, a qual é limitada pela habilidade da bomba trabalhar sem cavitar ou por outras considerações mecânicas. A faixa de rotação mínima e máxima, assim como a pressão na entrada, são claramente fornecidos pelo fabricante para facilitar a seleção da bomba numa necessidade de projeto.

Rendimento: A qualidade da bomba é indicada em termos de rendimento, sendo três os rendimentos comumente utilizados para isso:

Rendimento volumétrico é a relação entre a vazão real e vazão teórica da bomba. A diferença entre a vazão real e a teórica é, normalmente, devido ao vazamento interno necessário para a lubrificar a bomba.

Rendimento global é a relação entre a potência hidráulica na saída e a potência mecânica na entrada da bomba.

Rendimento mecânico é a relação entre o rendimento global e o rendimento volumétrico. Perdas mecânicas ocorrem devido, principalmente, aos atritos internos e compressão do fluido.

Outra consideração a ser feita, para determinar a seleção correta da bomba é a sua compatibilidade com o fluido a ser bombeado. Durante muito tempo o óleo mineral foi o fluido utilizado pelos sistemas hidráulicos. Porém, hoje em dia, em função das considerações de segurança e legislações governamentais, estão sendo empregados fluidos hidráulicos resistentes ao fogo.

Neste caso, as vedações utilizadas nas bombas podem não ser compatíveis com o tipo de fluido. Outra questão diz respeito a uma redução no limite de pressão que a bomba pode operar, uma vez que a capacidade lubrificante desses fluidos resistentes ao fogo é baixa.

Outra característica importante das bombas, que deve ser utilizada pelo projetista, é a sua relação potência peso. Numa aplicação para área aeronáutica, automotiva e marítima interessa-lhes um conjunto de acionamento leve (quando comparada com uma aplacação industrial).

Geralmente, os efeitos da temperatura ambiente e da altitude afetam o rendimento e independem do tipo de bomba. Os limites para operação satisfatória são estabelecidos, primariamente, pelos efeitos do ambiente sobre o fluido do que pelo tipo de ação do bombeamento. Em caso de um fluido muito quente, o rendimento

volumétrico diminui. A umidade apenas influencia naquelas aplicações onde a mesma fica exposta ao meio exterior.

1.1- Tipos de bombas

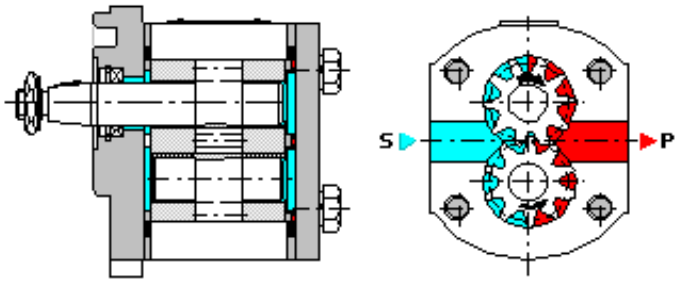
Os dispositivos mecânicos usados para a transferência de fluido, basicamente, não são projetados para atender a modulação ou transferência de energia, mas sim para movimentar um fluido. Os tipos de bomba para transferência de fluido são bombas de deslocamento positivo e bombas de deslocamento não-positivo (centrífuga). As bombas centrífugas não são recomendadas para aplicações em sistemas hidráulicos.

1.1.1 - Bomba de engrenagens (engrenamento externo)

Esta bomba é constituída de um par de engrenagens acopladas. As duas engrenagens têm o mesmo número de dentes e o mesmo módulo. Uma engrenagem é motriz e a outra é a conduzida.

As duas engrenagens são colocadas dentro de uma carcaça, que as envolve com precisão verificando-se uma vedação. Dentro dessa carcaça observam-se duas câmaras que se comunicam com a tubulação de sucção e de descarga.

Durante a rotação as duas engrenagens estão girando em sentido contrário, na câmara de sucção verifica-se uma depressão devido ao desengrenamento dos dentes. O fluido contido no reservatório é empurrado pela pressão atmosférica preenche o volume entre a superfície dos dentes e a carcaça, sendo arrastado por eles até a câmara de descarga. Na câmara de descarga, ao ocorrer o engrenamento dos dentes, existe uma redução de volume passando o fluido a ser expulso pela tubulação de descarga. O deslocamento das bombas de engrenagens é fixo (constante), não podendo variar durante a operação.



1.1.2 - Bomba de palhetas

Uma bomba de palhetas é constituída por um rotor que gira ao redor de uma carcaça internamente cilíndrica. O rotor tem certo número de ranhuras dentro das quais são colocadas, com um ajuste leve, as palhetas.

O rotor é montado com uma excentricidade com relação centro da carcaça. Durante a rotação por efeito da força centrífuga e do pequeno atrito, as palhetas são mantidas em contato com a superfície interna do corpo da bomba.

O espaço compreendido entre o rotor, corpo da bomba e as palhetas preenche-se com o fluido do reservatório. Da mesma forma como ocorre com a bomba de engrenagens, na câmara que verificar-se um crescimento de volume observa-se uma depressão que faz a pressão atmosférica empurrar o óleo do reservatório para dentro

dessa câmara. Por outro lado, ao haver uma câmara onde ocorre uma redução de volume, o fluido é expulso da bomba.

As bombas de palhetas simples (muitas vezes chamadas de desbalanceadas) permitem uma variação na vazão de fornecimento (dentro de certos limites) para rotação constante. Para efetuar-se essa variação na vazão, faz-se a alteração na excentricidade. A vazão nula corresponde a excentricidade nula, ou seja, quando o centro do rotor coincide com o centro da carcaça. A vazão assume seu valor máximo, quando a excentricidade é máxima: o rotor está tangente à carcaça da bomba.

O ajuste da vazão é feito através dispositivo com parafuso e mola de compressão que "sente" o valor da pressão na câmara de descarga, modificando o valor da excentricidade automaticamente.

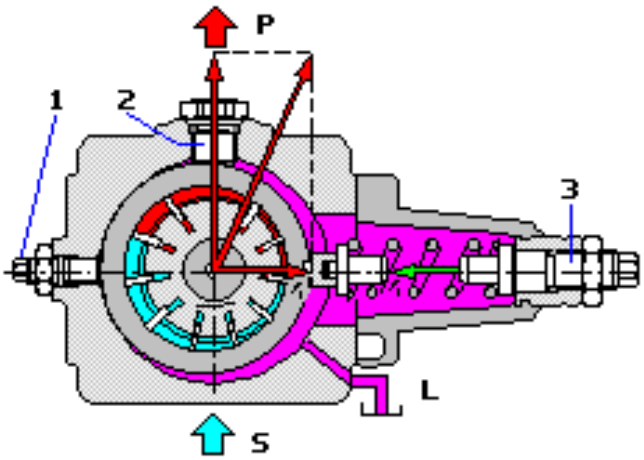


Figura 2: Bomba de palhetas; 1- ajuste do deslocamento; 2 - ajuste do anel estator; 3 - ajuste da pressão máxima

As chamadas bombas de palhetas balanceadas têm a carcaça interna na forma oval. Essa forma constritiva permite que a pressão não seja unilateral, onde duas forças hidráulicas de mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários não agem sobre o mancal do rotor. As bombas balanceadas não podem ter seu deslocamento variável, porém suportam valores mais altos de pressão.

1.1.3 - Bombas de pistões axiais

Podem ser do tipo disco inclinado ou eixo inclinado.

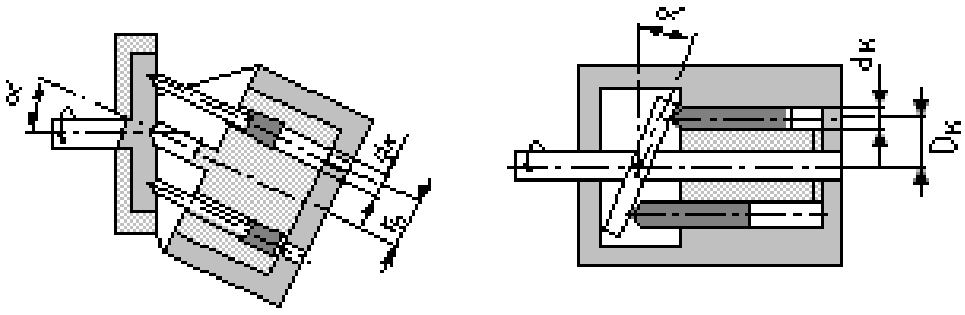
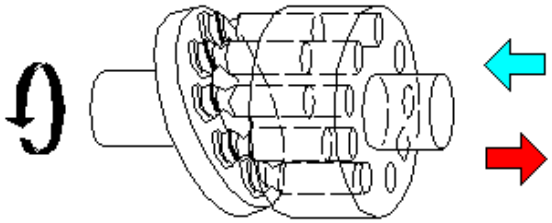


Figura 3: Bombas de pistões axiais com eixo inclinado (esq.) e disco inclinado (dir.)

A bomba do tipo disco inclinado é constituída por um corpo rotativo contendo os cilindros com seus êmbolos. O corpo rotativo forma uma estrutura única com o eixo,

que está ligado ao motor de acionamento. Ainda nesse rotor existe um anel fixo, onde existem dois rasgos em forma de rim os quais se comunicam com as tubulações de descarga e sucção, respectivamente.

Os pistões estão unidos a uma placa, solidária ao disco inclinado, podendo (os pistões) movimentarem-se na direção de seu próprio eixo. Os pistões e a placa são induzidos a realizarem um movimento de rotação, pelo eixo de acionamento. Isso promove aos pistões um movimento alternativo.



Cada pistão é preenchido com fluido quando passa por um dos rasgo (volume interno crescente), e esvazia-se quando passa em frente ao rasgo oposto (volume interno decrescente).

Uma vez que a vazão fornecida pela bomba é dependente do curso do cilindro, essa pode assumir diferentes valores conforme a variação do ângulo de inclinação do prato por onde deslizam os pistões. Em geral, esse ângulo de inclinação não excede a 30° e, quanto maior o ângulo de inclinação maior a vazão. Um ângulo de inclinação 0° significa vazão nula, em alguns tipos de sistemas hidráulicos esse ângulo pode assumir um valor negativo, o que significa uma inversão no sentido de escoamento do fluido.

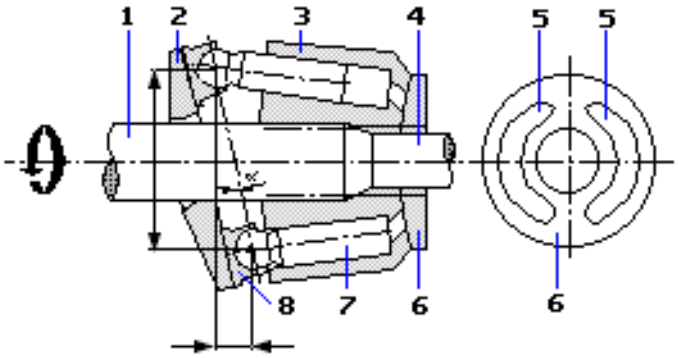


Figura 5: Bomba com disco inclinado 1-eixo de acionamento; 2- disco inclinado; 3- placa; 4- ponta do eixo; 5- rasgos; 6- anel fixo; 7- pistões; 8- placa de união dos pistões.

Toda a bomba que permite uma variação no valor de seu deslocamento, permitem uma aplicação mais eficiente dos sistemas hidráulicos. Em outras palavras, há a possibilidade de fazer emprego de sistemas que controlam a energia hidráulica modulando-a conforme a energia mecânica necessária pelo atuador hidráulico.

Os controles eletrohidráulicos de vazão e pressão incorporados na bomba permitem maior flexibilidade e operações mais eficientes, reduzindo o número de válvulas necessárias no circuito de controle e comando. Hoje em dia o emprego de controles eletrônicos nas bombas hidráulicas está mais fácil. Um CLP, PC, microprocessador, potenciômetro ou dispositivo que forneça um sinal de controle a uma cartela eletrônica da bomba (até mesmo um sinal PWM).

Os benefícios para o emprego da eletrônica são numerosos. O fator de maior interesse é a tremenda economia de energia - 40 a 50% - utilizando-se esses controles, porém o custo ainda é bastante elevado.

1.1.4 - Bombas múltiplas

Em casos onde a demanda do sistema requeira um número de diferentes vazões e pressões, o mesmo desempenha uma melhor operação através da combinação de duas ou mais bombas as quais são acionadas ou não conforme a carga existente. Essas bombas são algumas vezes denominadas de bombas geminadas.

Um tipo padrão, disponível comercialmente, é o denominado sistema "alta-baixa", onde as saídas das bombas são automaticamente chaveadas com o circuito de acordo com a demanda de pressão do sistema. Esse sistema é assim denominado por possuir duas bombas, onde uma delas tem a capacidade de fornecer alta vazão sob baixa pressão; enquanto a outra bomba pode fornecer baixa vazão sob alta pressão, pois as duas bombas têm um rotor único ligado ao motor de acionamento.

1.2 - Determinação da capacidade das bombas hidráulicas

A capacidade das bombas pode ser indicada de alguma das seguintes formas: através da vazão fornecida e a correspondente rotação e pressão. Através do deslocamento da bomba (valor teórico referindo-se diretamente à geometria da bomba) ou através de uma série de curvas características relacionando diferentes vazões com rotação e pressão. A quantidade de fluido fornecido diminuirá se os desgastes na bomba forem altos.

Tem-se:

$$Q_t = D_B \times n_B$$

$$T_t = \frac{D_B \times p_B}{2\pi}$$

$$\eta_{vol} = \frac{\text{Vazão real}}{\text{Vazão teórica}} = \frac{Q_B}{D_B \times n_B}$$

$$\eta_{hm} = \frac{D_B \times p_B}{2\pi \times T_B}$$

$$\eta_{tot} = \frac{Q_B \times p_B}{2\pi \times n_B \times T_B} = \eta_{vol} \times \eta_{hm}$$

Onde: D_B: deslocamento da bomba (por rotação);

n_B: rotação do eixo;

p_B: pressão de saída;

Q_t: vazão teórica;

Q_B: vazão real;

T_t: torque de entrada teórico;

T_B: torque de entrada real;

η_{vol}: rendimento volumétrico;

η_{hm}: rendimento hidromecânico;

η_{tot}: rendimento total.

1.3 - Reservatório

A função de um reservatório de fluido num sistema hidráulico são as seguintes:

- Fornecer uma câmara na qual qualquer variação em volume de fluido no circuito hidráulico possa ser acomodado. Quando um cilindro avança, ocorre um aumento no volume de fluido no circuito e consequentemente existe uma redução nível do reservatório.
- Suprir o fluido perdido por algum vazamento que tenha ocorrido no sistema.
- Servir como local de enchimento de fluido ao sistema.
- Favorecer a troca de calor de calor com o ambiente, permitindo o arrefecimento do fluido.

Os reservatórios podem ser pressurizados, em geral entre 0,35 e 1,4 bar exigindo métodos de controle dessa pressão.

A capacidade do reservatório deve atender às necessidades de volume que o sistema necessita, basicamente. Na maioria das vezes o parâmetro de referência para determinação de seu volume interno mínimo, é a vazão máxima possível de ser fornecida pela bomba. Adota-se na prática, que em caso de verificar-se algum vazamento no sistema hidráulico, é preciso que haja um tempo suficiente para desligar o motor e durante esse espaço de tempo deve existir uma quantidade de fluido, pois não estaria ocorrendo um retorno ao reservatório. Em geral, o tempo máximo está entre 3 e 4 minutos. Uma vez que a unidade de medida de vazão mais empregada para indicar a vazão em um sistema hidráulico é l/min. o volume em litros do reservatório é obtido pelo produto desse tempo prático e vazão máxima da bomba. Conforme for o nível de controle empregado para detectar vazamentos no sistema esse tempo pode ser reduzindo, sendo possível até mesmo dar o tempo de 1 minuto. Isso evita um superdimensionamento do reservatório, o que não traz vantagens econômicas em todos os sentidos.

Outras regras, empíricas, utilizadas como ponto de partida para determinação do tamanho do reservatório é adotar-se entre 2 a 5 litros por HP instalado. Isso pode acarretar em um reservatório muito grande quando é utilizado um sistema que trabalha em alta pressão. Outro parâmetro emprego para seu dimensionamento, é a necessidade de transferir calor pelas suas superfícies.

A bomba pode ser montada externa ou internamente ao reservatório. Externamente, pode localizar-se no topo ou lateralmente. É preferível uma colocação externa, pois permite uma boa manutenabilidade. O posicionamento lateral favorece a sucção, especialmente quando é empregado um fluido resistente ao fogo que contém uma parte de água, porque tem uma densidade maior.

1.4 - Unidade de acionamento

Algumas vezes a complexidade e a magnitude de um trabalho sugerem que um sistema hidráulico será difícil de entrar em funcionamento com seus componentes montados separadamente,. Em tais casos, uma unidade de acionamento consistindo de um reservatório, bomba, motor de acionamento, filtros, trocador de calor e um bloco com arranjo de válvulas básicas pode ser empregado. O controle mínimo que pode possuir uma bomba é uma válvula para ajustar a pressão máxima de trabalho do sistema. O reservatório contaria com filtro na entrada, todas as conexões necessárias para ligar as tubulações, indicadores de nível e temperatura do óleo e tampas para

acesso em caso de uma limpeza geral. Esse tipo de unidade de acionamento é um claro exemplo de uma unidade operacional recomendável.

Os fabricantes cobram mais caro por uma unidade hidráulica com todas essas montagens, do que se estivessem separadamente com o reservatório construído pelo usuário. Mas os mesmos garantem que esse custo adicional é compensado pelo fato do usuário não precisar selecionar os componentes, projetar o sistema, construí-lo ou preocupar-se com ele. Eles asseguram que uma unidade hidráulica com os componentes compatíveis fornecidos por esse fabricante para uma necessidade específica, geralmente garante o máximo rendimento do sistema, confiabilidade e disponibilidade com um mínimo de ruído.

O coração do sistema hidráulico é bomba! Portanto, a correta seleção da mesma, até para um sistema simples, garantirá a tranqüilidade de todos os envolvidos com a máquina hidráulica.

Para projetar uma unidade de acionamento hidráulico, o engenheiro projetista deve conhecer uma quantidade de outros assuntos:

- Tipo de máquina ou aplicação.
- Trabalho a ser desempenhado.
- Força máxima e pressão de trabalho necessárias.
- Velocidades máxima e mínima para o trabalho.
- Tamanho e peso das partes móveis da máquina.
- Tipo, função e precisão dos controles.
- Tipo de ciclo de serviço.
- Tipo de energia primária disponível para acionamento da unidade hidráulica.
- Espaço disponível.
- Método necessário para troca de calor com óleo.
- Especificação de ruído.
- Alguma condição de aplicação não comumente usada, exigências especiais ou condições ambientais.

3- Atuadores Hidráulicos

São responsáveis pela conversão da energia hidráulica em energia mecânica para realizar um determinado trabalho.

Os atuadores hidráulicos são disponíveis em várias formas para permitir uma ação específica. Chamamos de cilindro os atuadores lineares, pois desenvolvem um trabalho linear; os motores (atuadores rotativos) executam um movimento rotativo contínuo e os chamados osciladores (atuadores semi-rotativos) executam uma volta incompleta (arco) um número limitado de voltas.

3.1 - Atuadores lineares

Quando o fluido é bombeado para o interior da câmara de um cilindro, o pistão e a haste são forçados a efetuarem um movimento empurrando ou puxando uma carga.

Após o avanço o mesmo pode retornar por ação da gravidade, da força de um mola ou de um fluxo reverso de fluido proveniente da bomba.

Fazendo uma pequena comparação entre os cilindros empregados para sistemas pneumáticos e hidráulicos, sua forma construtiva não apresenta muita diferença. Entretanto, os cilindros hidráulicos diferenciam-se por:

Serem mais robustos em razão das maiores pressões de serviço (material mais resistente e maiores dimensões).

As vedações são mais perfeitas

Os atuadores lineares podem ser divididos em três grupos principais:

- Haste sólida (de deslocamento)
- Simples ação
- Dupla ação

3.1.1 - Cilindro de haste sólida

Este cilindro consiste de uma haste a qual é deslocada de um lado de um tubo pelo bombeamento de fluido para o interior do tubo. O volume da haste que sai de dentro do tubo é igual ao volume de fluido entrando no tubo, por isso é algumas vezes chamado de "cilindro de deslocamento".

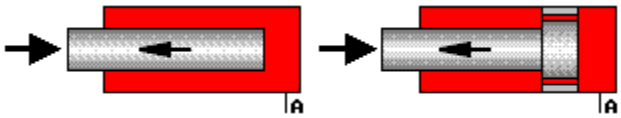


Figura 6: Cilindro de haste sólida.

Esse cilindro é projetado para que, pelo menos, o peso próprio da haste execute o recuo (ou outro tipo de força externa). A qualidade do acabamento da superfície interna do tubo não é necessariamente muito alta, o que reduz bastante os custos de fabricação quando comparados com outras formas construtivas de cilindros.

Considerando **d** como sendo o diâmetro da haste, a força máxima a ser exercida pelo cilindro é determinada pela seguinte relação: força = pressão x área da haste

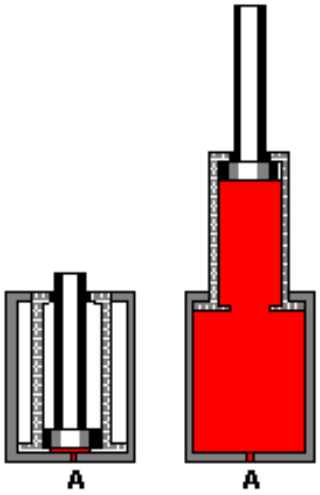
$$= \mathrm{P} \times \frac{\pi \times d^2}{4}$$

.

A velocidade de avanço é determinada por:

$$\text{Velocidade da haste} = \frac{\text{Vazao de fluido entrando no cilindro}}{\text{Area da haste do cilindro}}$$

Uma variação do cilindro de haste sólida é o cilindro telescópico. Os cilindros telescópicos são usados quando um grande deslocamento é necessário e existe uma limitação de espaço no sentido do comprimento do cilindro. Eles consistem de varias hastes uma entrando na outra e funcionam pelo princípio do deslocamento.



Os tubos (hastes) contêm um colar na sua parte traseira, onde também existe passagem para o fluido e ao mesmo tempo impedem a separação dos mesmos. Quando o mesmo recebe o comando para o avanço, todas as seções movimentam-se juntas até que sendo a parte mais interna a última a deslocar-se.

Para uma mesma quantidade de vazão que chega no cilindro, a velocidade de avanço vai aumentando conforme cada sucessiva seção (geralmente denominada de estágio) atinge seu final de curso. Similarmente, para uma pressão máxima a capacidade de mover uma carga vai reduzindo.

3.1.2 - Cilindro de simples ação

Esses cilindros podem ser acionados em uma única direção (ou avança ou recua) por forças hidráulicas; o movimento de retorno é realizado ou pela ação de uma mola ligada na haste do cilindro ou por outro tipo de força externa.

Para existir uma boa vedação no pistão, a câmara cilindro deve ter um bom acabamento superficial (brunimento). O lado do pistão não tocado pelo óleo deve ser drenada para não aprisionar óleo e reduzir o curso útil do cilindro.

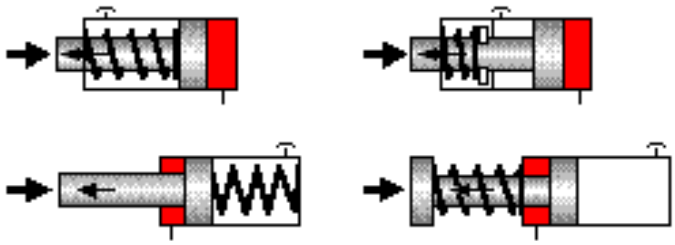
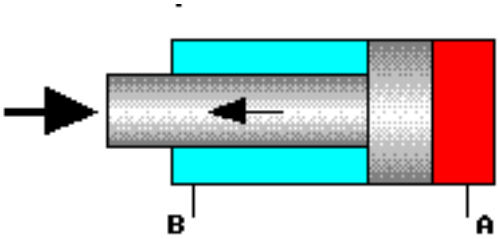


Figura 8: Formas de ligação de mola com a haste.

3.1.3 - Cilindro de dupla ação

Esse tipo de cilindro é acionado tanto para avanço quanto para recuo pelo fornecimento de fluido da bomba, para um lado apropriado do cilindro. O cilindro consiste de um tubo com tampas nas extremidades as quais podem ser soldadas, roscadas ou presas por tirantes com roscas nas pontas. Esse cilindro pode ter uma ou duas hastes e, neste caso, pelo menos uma das tampas terá uma bucha de vedação para servir de apoio para a haste.



O mais empregado é um cilindro de haste única (quando se apresenta com duas hastes é denominado de cilindro com haste passante). A principal aplicação de um cilindro de haste passante é quando se faz necessária a mesma velocidade de avanço e recuo; o que não verifica-se com o cilindro de haste única pela existência de áreas diferentes. Outras aplicações do cilindro de haste passante é que o uma das pontas pode ser usada para sinalizar o posicionamento da outra ponto, assim como este cilindro apresenta a vantagem de um bom alinhamento.

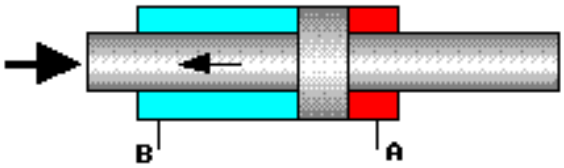


Figura 10: Cilindro de dupla ação com haste passante.

a - Para a determinação da velocidade de um cilindro de dupla ação e haste única, são consideradas:

Área do pistão $A_P = \pi D_P^2/4$

Área da coroa circular $(A_P - A_H) = \pi/4\,(D_P^2 - d_H^2)$

Quando o pistão deve avançar a velocidade $V = Q_B/A_P = q_A/(A_P - A_H)$

Logo: $q_A = Q_B(A_P - A_H)/A_P$

Então, quando a haste do pistão está avançando, a vazão de fluido que sai de dentro do cilindro (chamada de vazão induzida de avanço) é menor do que a vazão que está chegando da bomba.

Quando a haste do cilindro deve recuar; assumindo q a vazão que chega no lado da câmara da haste e Q a vazão no outro lado do câmara do cilindro. Logo, a velocidade do pistão será:

$$V = q_R/(A_P - A_H) = Q_B/A_P$$

Ou então:

$$Q_B = q_R \times A_P/(A_P - A_H)$$

Portanto, quando a haste do cilindro está recuando a vazão que deixa o cilindro (vazão induzida de recuo) é maior do que a vazão que vem da bomba.

b - Para a determinação da força disponível na haste de um cilindro de dupla ação com haste simples, devem considerar dois tipos de força. Muitos autores fazem a distinção entre força estática e força dinâmica sendo a força dinâmica 0,9 vezes a força estática. Outras considerações podem ser levadas a efeito tais como atritos, inércia, atrito interno no êmbolo devido a vedação (usualmente de 5 bar) etc.

A força estática desenvolvida por um cilindro hidráulico é o produto da pressão pela área.

Durante o avanço teremos:

$$= P_1\left(\frac{\pi D_P^2}{4}\right) - P_2\left(\frac{\pi D_P^2}{4} - \frac{\pi d_H^2}{4}\right)$$

$$= \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left[P_1 D_P^2 - P_2 (D_P^2 - d_H^2)\right]$$

Durante o recuo:

$$= P_2\left(\frac{\pi D_P^2}{4} - \frac{\pi d_H^2}{4}\right) - P_1\left(\frac{\pi D_P^2}{4}\right)$$

$$= \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left[P_2 (D_P^2 - d_H^2) - P_1 D_P^2\right]$$

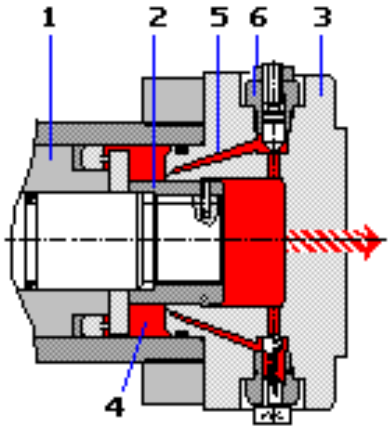
3.1.4 - Tamanhos padronizados de cilindros

A tabela a seguir apresenta o diâmetro da gaste para alguns atuadores de um determinado fabricante.

Diâmetro do Pistão	Diâmetro dahaste	
	Pequena	Grande
40	20	28
50	28	36
63	36	45
80	45	56
100	56	70
125	70	90
140	90	100
160	100	110
180	110	125
200	125	140
220	140	160
250	160	180
280	180	200
320	200	220

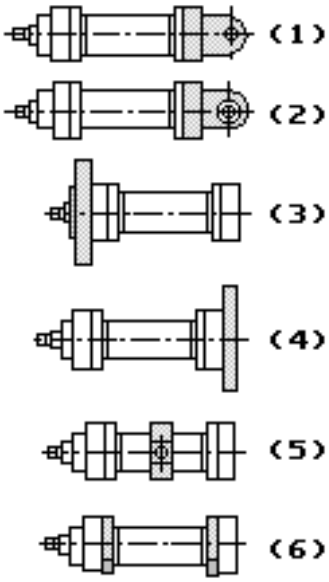
3.1.5 - Amortecimento de fim de curso

Para evitar os choques nos finais do curso os cilindros hidráulicos têm sempre amortecimento de fim de curso. A partir de um determinado deslocamento da haste do cilindro, uma quantidade de óleo é forçada a passar por um estrangulamento (geralmente variável) provando uma perda de carga (criando um contra pressão na câmara do cilindro). Essa contrapressão provoca a frenagem do êmbolo.



3.1.6 - Tipos de fixação dos cilindros hidráulicos

A fixação dos cilindros pode ser feita de várias maneiras, como mostra a tabela a seguir:

	1 - articulação paralela 2 - Articulação esférica 3 - Flange dianteiro 4 - Flange traseiro 5 - Basculamento central 6 - Fixação por pés

Quando a haste encontra-se em um ambiente com muito pó, a mesma dever ser protegida com um fole que se distende e se retrai.

Outros tipos de cilindro, assim como importantes parâmetro para correta aplicação e utilização dos cilindros serão tratadas em outro material específico para projeto de sistemas hidráulicos.

3.2 - Motores hidráulicos

Da mesma forma que os cilindros, os motores hidráulicos têm como função básica, transformar a energia hidráulica em energia mecânica sob a forma de torque e rotação para movimentar uma carga.

Construtivamente, o motor assemelha-se a uma bomba hidráulica, apenas tem uma função inversa.

3.2.1 - Classificação dos motores hidráulicos

Assim como as bombas (e cilindros) os motores podem uni ou bidirecionais (girar em um ou dois sentidos). Podem ser de vazão fixa ou variável, conforme possibilidade de alteração de seu deslocamento.

Os de vazão fixa, mais empregados, são: de engrenagens, de palhetas e de pistões (radiais ou axiais). Os construídos para ajuste no deslocamento são: palhetas e de pistões (radiais ou axiais).

Como ocorre com as bombas, o motor deve possuir uma linha de dreno utilizado para fazer a lubrificação das partes com movimento relativo. Procura-se minimizar a contrapressão na tomada de saída do motor, o que poderá reduzir sua capacidade de vencer um determinado torque.

Uma vez entendido o princípio de funcionamento das bombas (desse mesmo tipo), seria repetitiva uma descrição da forma construtiva desses motores. O diferencial maior será observado ao efetuar-se a utilização do mesmo, pois conforme necessidade de seu emprego exigirá um tipo de circuito hidráulico adequado (transmissões hidrostáticas). Para um maior aprofundamento consultar os livros recomendados, os quais apresentam maior detalhamento de imagens explicativas.

3.2.2 - Determinação da capacidade de um motor hidráulico

Uma vez que se verifica essa similaridade entre bomba e motor, as expressões matemáticas das bombas são empregadas de forma inversa. A seguir será feita sua exposição a partir dos rendimentos volumétrico, mecânico e global.

Rendimento volumétrico η_V é:

$$\frac{\text{Vazao teorica}}{\text{Vazao real}} = \frac{D_M \times n_M}{Q_B}$$

Onde Q_B é vazão fornecida pela bomba que chega ao motor

Rendimento mecânico η_M é:

$$\frac{\text{Trabalho de saida por rotacao}}{\text{Trabalho teorico por rotacao}} = \frac{2\pi T_M}{D_M \times \Delta p_M}$$

Onde T_M é o torque disponível no eixo do motor e Δp_M corresponde a variação de pressão entre a entrada e a saída do motor

Rendimento global η_G é:

$$\frac{\text{Potencia na saida}}{\text{Potencia hidraulica}} = \frac{2\pi \times n_M \times T_M}{Q_B \times \Delta p_M}$$

A relação entre os rendimentos é a mesma:

$$\eta_G = \eta_V \times \eta_M$$

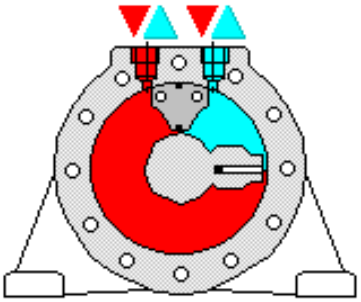
3.3 - Osciladores hidráulicos

São também denominados de atuadores semi-rotativos, sendo estes dispositivos usados para converter uma energia hidráulica (fluxo sob pressão) em torque num

ângulo de giro limitado pelo projeto do atuador. Para atender a qualquer situação de projeto é usual uma volta completa (ângulo de giro de 360°), sendo possível exceder esse valor ao fazer uso de atuador semi-rotativo que emprega um pistão.

3.3.1 - Tipo palheta

Consiste de uma ou duas palhetas unida a um eixo de saída que gira quando se verifica uma variação de pressão entre as suas tomadas. Um atuador com palheta única está limitado a um ângulo de giro de 320° e com duas em 150°, aproximadamente.

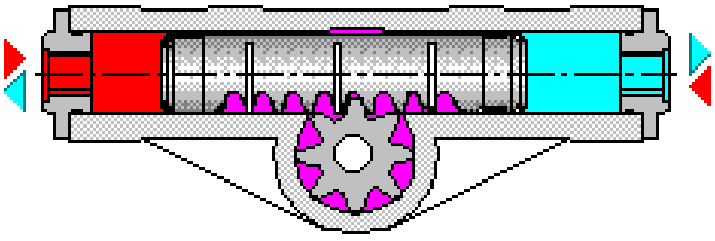


O máximo torque, mais freqüente, em um atuador com palheta única é de 40 x 10^3 Nm e para palheta dupla de 80 x 10^3 Nm.

3.3.2 - Tipo pinhão-cremalheira

Um cilindro hidráulico é usado para acionar a cremalheira e fazer gira a engrenagem (conforme mecanismo pinhão-cremaleira). Esse é o tipo de atuador semi-rotativo mais disponível comercialmente para aplicações hidráulicas, havendo uma maior diversidade em aplicações pneumáticas.

O ângulo de rotação depende do deslocamento da cremalheira e tamanho da engrenagem, na sua maioria efetuam 360° de ângulo de giro. Um parafuso de ajuste para sua posição final, é geralmente disponível. Amortecimentos nos finais de seus cursos, também são muitas vezes empregados.



Os torques de saída, possíveis nesses tipos de atuadores, são de 800 x 10^3 Nm sob pressão de 210 bar.

Os atuadores semi-rotativos são empregados para movimentar objetos em ângulo controlado, como por exemplo, para abrir grandes válvulas borboleta em tubulações e para dobra de barras ou tubos. Eles são controlados com as mesmas válvulas usadas para atuadores lineares para ajustes de torque, velocidade e posição. O arco percorrido pode ser limitado por dispositivos mecânicos internos (ou externos) de parada, com amortecimento se necessário for.

4- Válvulas Hidráulicas

Virtualmente todo o sistema de fluido de trabalho requer algum tipo de válvula. Num sistema hidráulico, as válvulas podem controlar a pressão, vazão para um atuador ou a quantidade de fluxo permitida para um determinado ponto. Em geral, uma válvula influencia em apenas uma dessas funções:

Uma válvula de alívio é usada para regular a pressão máxima num circuito ou em parte dele.

Uma válvula direcional de quatro vias pode ser usada para alterar a direção de rotação de um motor hidráulico (o emprego correto deve ser mudança no sentido de movimento).

Uma válvula de controle de fluxo pode alterar a velocidade de um atuador pela alteração na quantidade de vazão até ou de um atuador hidráulico.

Na prática, duas ou mais válvulas podem estar combinadas em um único envelope (corpo) para formar uma válvula composta que tem mais de uma função. Um exemplo típico disso é onde uma válvula de controle de vazão e uma válvula de retenção são montadas juntas produzindo uma válvula de controle unidirecional de velocidade.

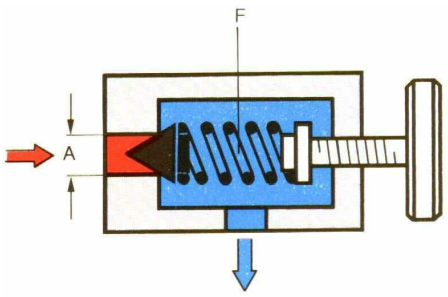
A tendência atual das válvulas para a indústria é pela miniaturização; compatibilidade com os controles eletrônicos (melhoria de desempenho) e novos materiais. Para as válvulas pneumáticas estão sendo bastante empregadas construções em plástico para redução de peso e imunidade à corrosão; estão em grande desenvolvimento componentes cerâmicos para as válvulas hidráulicas visando um aumento em sua vida útil elevando sua resistência à contaminação.

"As válvulas são os elementos essenciais para o controle de desempenho de sistemas hidráulicos."

4.1 - Válvulas de controle de pressão

Uma válvula de controle de pressão pode ser usada para limitar a pressão máxima (válvula de alívio), ajustar uma contrapressão (válvula de contrabalanço) ou fornecer um sinal quando um determinado valor de pressão tenha sido atingido (válvula de seqüência). A principal característica da maioria das válvulas de controle de pressão é que as forças hidráulicas são resistidas por molas.

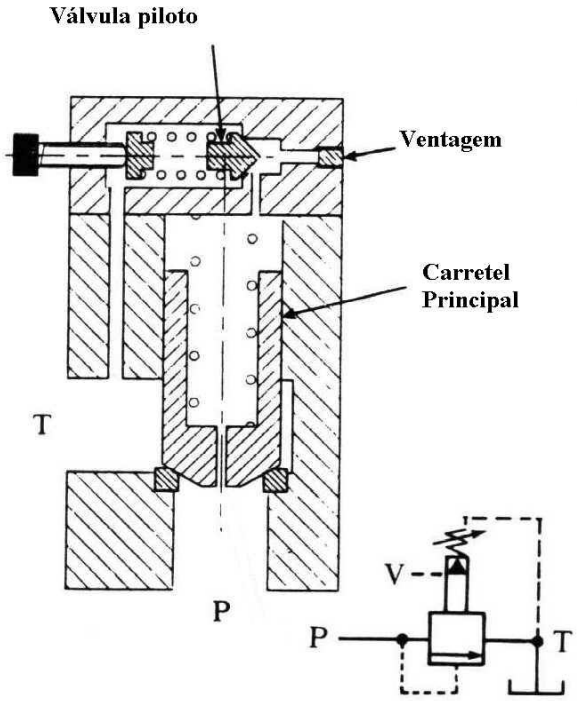
O interesse primário nos circuitos hidráulicos é controlar ou o nível de pressão ou a taxa de vazão. Em teoria, a maioria das válvulas de controle de vazão pode ser usada para controlar a pressão. Se o tamanho do orifício, fornecimento de vazão e viscosidade do fluido são constantes a pressão permanece constante; se uma das três varia, a pressão varia. Tipicamente, tais válvulas produzem apenas o tipo mais bruto de controle de pressão. Por maior precisão de controle, muitos tipos de válvulas de controle de pressão são desenvolvidos e são categorizadas pela sua função a ser desempenhada.



4.1.1 - Válvula de alívio (de segurança)

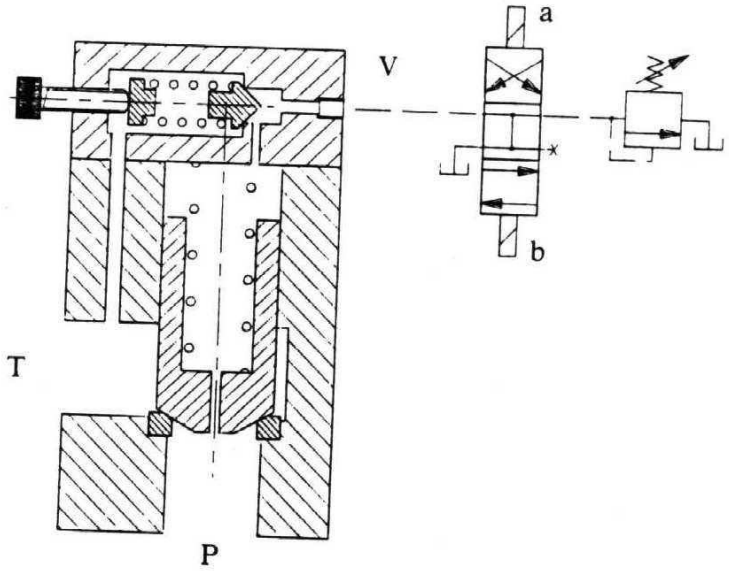
Desempenham o papel de um "fusível" analógico no sistema hidráulico, pois modulam suave e continuamente a vazão para manter a pressão a partir de um nível superior de pressão pré-ajustada. Uma válvula de alívio é normalmente fechada até que o nível de pressão atinja um valor pré-ajustado. Como a pressão do sistema aumenta, o fluxo sobre uma válvula de alívio de um determinado tamanho aumenta até que toda a vazão proveniente da bomba passe pela válvula. Quando a pressão do sistema cai, a válvula fecha-se suave e calmamente.

As válvulas de alívio são disponíveis para atuação direta ou com operação através de piloto hidráulico (dois estágios = uma válvula pequena comanda uma maior). Outra forma é a modulação elétrica através de um solenóide proporcional.



Uma válvula de alívio pode receber o comando para tornar-se inoperante através de duas formas: pela liberação da pressão piloto = ventagem ou através de uma ligação com um piloto externo.

A ventagem é possível através da utilização de uma válvula de alívio de dois estágios, onde existe uma via na válvula secundária que, ao ser ligada com o tanque, libera a pressão de fechamento da válvula principal. A ventagem provoca um desbalanceamento no carretel da válvula principal abrindo-a numa pressão muito baixa fazendo com que toda a vazão da bomba passe pela válvula ao tanque. A vazão passando pela válvula principal é grande, mas pela via de ventagem é bastante pequeno.

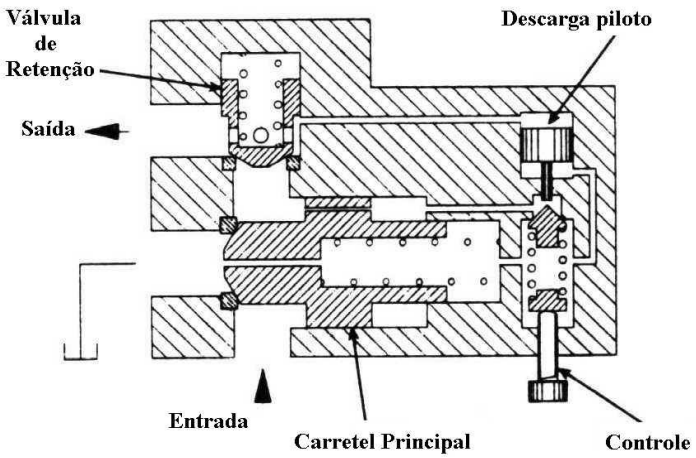


Um piloto externo desempenhará a mesma função de descarregamento de uma válvula de atuação direta. Quando a força hidráulica da linha piloto for maior que a força ajustada pelo controle de uma mola, a válvula de alívio se abrirá totalmente, passando toda a vazão da bomba pela válvula ao tanque.

A diferença entre as duas formas de tornar inoperante a válvula de alívio, reside que a ventagem não depende do ajuste feito na válvula principal enquanto que através de piloto externo (descarregamento) é dependente.

4.1.2 - Válvula de descarga

Permite a passagem livre sobre uma área de baixa pressão quando um sinal é aplicado a uma via piloto. Numa aplicação típica, as válvulas de descarga podem ser utilizadas para reconhecer um sinal hidráulico de um acumulador. Numa pressão pré-determinada, quando um acumulador é carregado até um determinado nível específico, a bomba pode ser aliviada com o descarregamento de toda sua vazão ao tanque. A pressão de descarregamento desse tipo de válvula é geralmente determinada através de um carretel carregado por uma mola, a qual pode ser ajustada para variar a pressão de descarregamento.

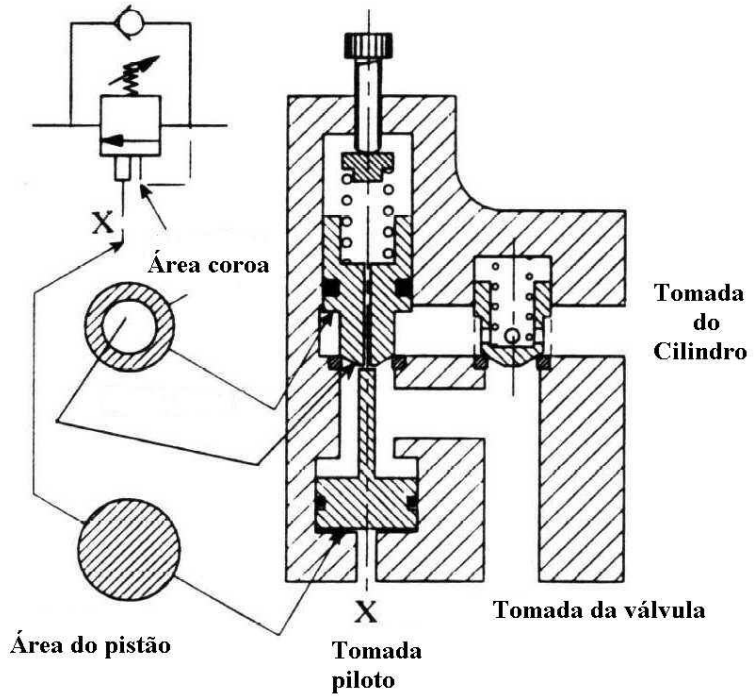


Uma outra aplicação desse tipo de válvula é em sistemas com duas bombas (bombas geminadas = sistema alta-baixa) descarregando a bomba secundaria quando a o circuito da bomba principal atinge uma pressão pré-determinada abaixo da ajustada na válvula de alívio.

4.1.3 - Válvula de contrabalanço

A válvula deve resistir ao movimento ou equilibrar a carga que está sendo mantida pelo cilindro ou motor hidráulico. Essas válvulas, através de um controle na pressão, permitem um excelente controle dinâmico. Se uma carga deve ser mantida por longo intervalo de tempo, recomenda-se a utilização em série de uma válvula de retenção pilotada. Deve-se ajustar a válvula com 30% acima da pressão necessária para equilibrar a carga.

Uma válvula de contrabalanço pilotada (ou válvula de frenagem) apresenta uma vantagem por requer uma pressão de abertura menor. Uma pressão relativamente baixa na seção piloto fará a abertura da válvula, removendo a contrapressão para a câmara do cilindro. Quando a carga tenderia a descer, a pressão piloto é perdida e a seção de contrabalanço cria uma contrapressão. Quando a pressão de trabalho surge, a válvula é pilotada removendo a contrapressão.



Similarmente, para uma aplicação com um motor hidráulico a mesma válvula fará a frenagem de uma massa movimentada por um guindaste (por exemplo), e quando a válvula direcional for para sua posição central teremos:

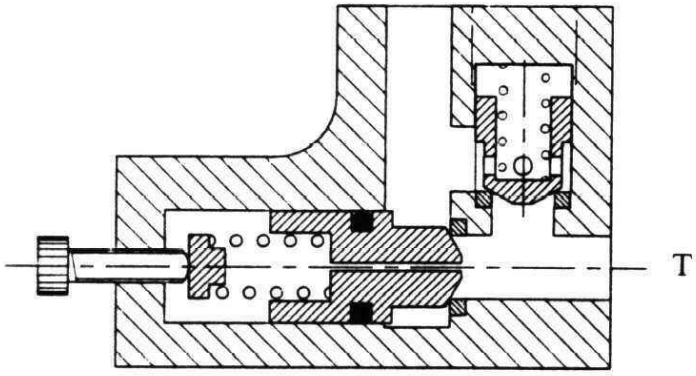
- A massa será mantida em sua posição.
- A massa não descerá por ação da gravidade.
- O motor freia suavemente.

A relação entre as áreas da linha piloto e a de contra-pressão situam-se entre 2:1 a 10:1, conforme o tipo de aplicação.

4.1.4 - Válvula de seqüência

São válvulas usadas para determinar a seqüência de operação das máquinas quando o sensoriamento da pressão é maior que um valor de máximo. A válvula normalmente fechada permite o fluxo entre a tomada primária (entrada) e a secundária (saída) quando a pressão atinge um nível pré-ajustado, tendo geralmente incorporada uma válvula de retenção quando o sentido de escoamento inverte-se.

Geralmente uma válvula de seqüência tem dois ou mais carretéis que devem ser atuados antes que o fluxo possa passar pela válvula. Tipicamente uma mudança de sinal ao carretel de controle, assegura que certa pressão mínima tenha sido desenvolvida em uma parte do circuito antes que o fluido possa passar para outra parte.



4.2 - Válvulas para controle na vazão (fluxo)

O fluxo pode ser controlado através de um estrangulamento (restrição) ou uma derivação. O estrangulamento nada mais é do que uma redução de uma área de passagem até a condição de fluxo zero; por derivação significa alterar a rota do fluxo de maneira que o atuador recebe apenas uma parte do fluxo total para movimentar-se. Quando o controle do fluxo é feito através da vazão que entra no atuador, o circuito é conhecido como sistema "meter-in" (ou controle na entrada). Caso o controle seja realizado na vazão induzida (saída) do atuador, é denominado de "meter-out" (controle na saída). Quando uma parte do fluxo é dirigido ao reservatório (ou até mesmo para outro ramo do circuito a ser controlado) é chamado de sistema "bleed-off" (em sangria).

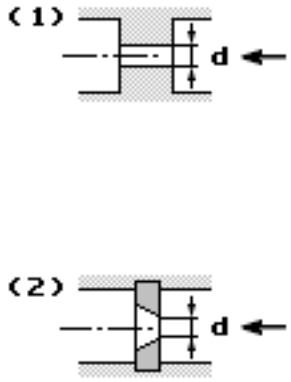


Figura 1: (1) estrangulamento (2) orifício.

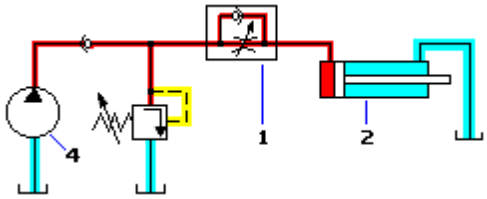


Figura 2: Sistema "meter-in".

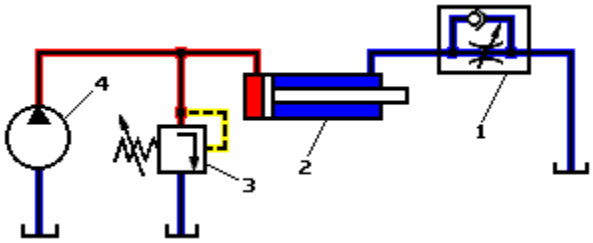


Figura 3: Sistema "meter-out".

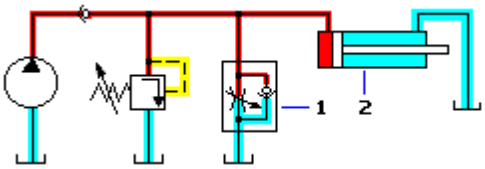


Figura 4: Sistema "bleed-off".

4.2.1 - Válvula de controle de fluxo não-compensada

São as válvulas mais simples, controlam a vazão através de um estrangulamento ou restrição. A quantidade de vazão que passa através de um orifício e a perda de carga nele estão diretamente relacionadas. Se a pressão aumenta, o fluxo na válvula aumenta.

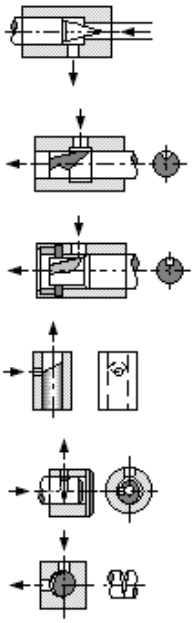


Figura 5: Formas de passagem do fluxo.

As válvulas de agulha de controle variável são os tipos mais comuns de válvulas não-compensadas; a vazão sobre a mesma varia conforme a variação de viscosidade e pressão. Geralmente, esse tipo de válvula tem junto uma válvula de retenção para permitir um único sentido de controle da vazão. A ligação em paralelo permite fluxo controlado em um sentido e livre em outro.

Para algumas tarefas, a possibilidade de ajuste ou é pouco importante ou não é potencialmente nocivo. Nesses casos, uma válvula com restrição fixa pode ser empregada. Basicamente, ela consiste de uma válvula de retenção com um estrangulamento incorporado.

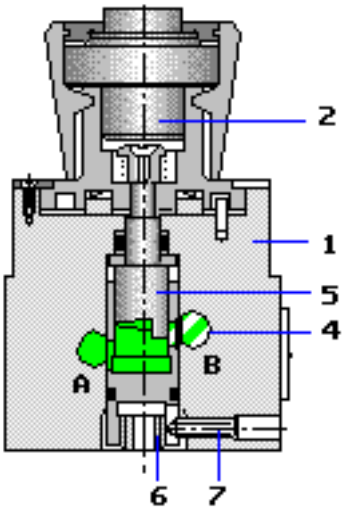


Figura 6: (1) corpo, (2) escala, (3) entrada, (4) ajuste, (5) bujão, (6) trava.

Tanto a válvula de estrangulamento fixo quanto variável são simples, confiáveis e baratas. Elas não oferecem precisão caso ocorra alguma alteração no valor da viscosidade ou da carga. Elas podem ser empregadas em qualquer circuito, em diferentes formas de ligação. Recomenda-se utilizá-las quando não exige-se precisão importante, quando o calor gerado durante a perda de carga pode ser tolerado, ou seja a gravidade é de pouca importância; logo cumprem um bom papel.

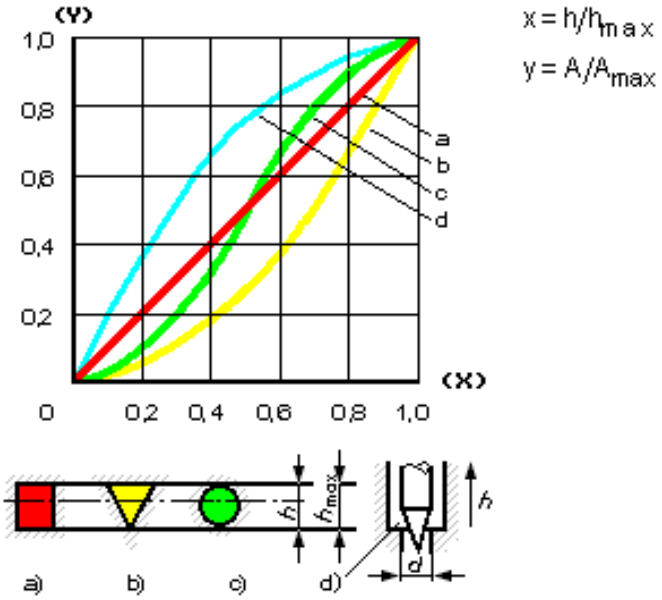


Figura 7: Relacionamento dos ajustes.

4.2.2 - Válvulas de controle de fluxo compensadas

As válvulas de controle de fluxo compensada mantém intimamente constante o valor da vazão independente das variações de pressão no circuito. Como as unidades não-compensadas, elas contém um orifício (ou estrangulamento) para ajuste da vazão. A perda de carga sobre esse orifício é utilizada para movimentar um carretel balanceado contra uma mola. Esse dispositivo é conhecido como balança de pressão ou hidrostato. O movimento desse carretel é utilizado para manter constante a perda de carga sobre o orifício, o qual foi ajustado, produzindo uma vazão constante. A perda de carga no orifício é relativamente baixa.

O hidrostato está ligado em série com o orifício de ajuste e, conforme o sentido do fluxo, quando uma válvula de controle de vazão compensada é usada em um sistema em sangria o hidrostato deve encontrar-se após a restrição. Deve-se tomar o cuidado no momento da ligação, observando atentamente o sentido correto do fluxo.

São mais caras do que as não-compensadas, em na maioria das vezes procura-se fazer a utilização de uma quantidade mínima nos circuitos hidráulicos. Quando se deseja utilizar o mesmo ajuste de velocidade de uma atuador, porém a linha onde estará inserida uma válvula de controle de vazão compensada em uma linha com duplo sentido de escoamento, emprega-se um arranjo com válvulas de retenção simples denominado de retificador (conforme eletrotécnica para conversão de corrente alternada em contínua).

Essas válvulas compensadas são, algumas vezes, denominadas de válvulas compensadas de duas vias; havendo consequentemente a válvula compensada de três vias, onde o hidrostato é substituído por uma válvula de controle de pressão com derivação ao reservatório.

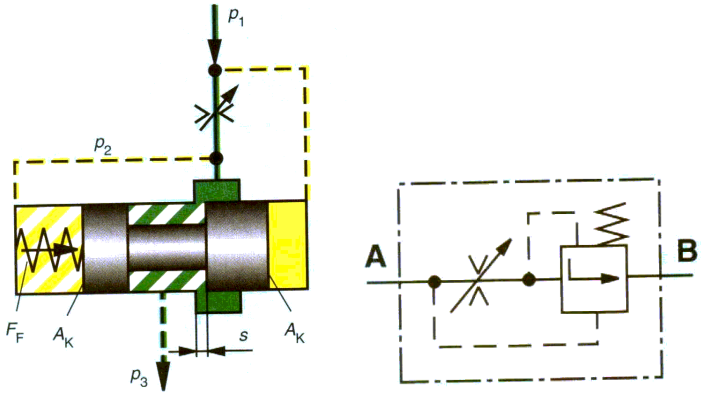


Figura 8: Válvula de controle de fluxo de 2 vias, com balança de pressão na entrada.

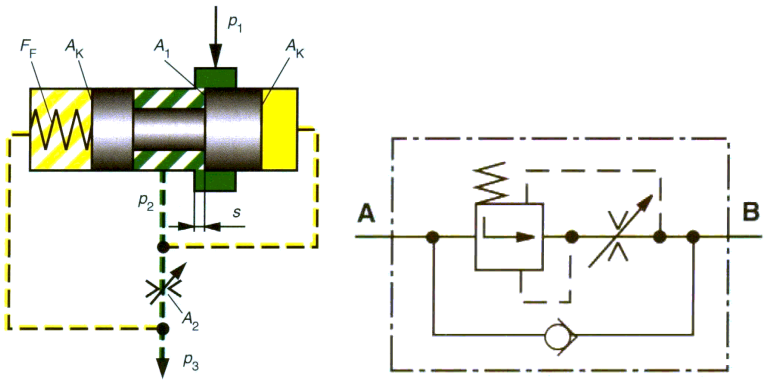


Figura 9: Válvula de controle de fluxo de 2 vias, com balança de pressão na saída.

Referências

http://www.em.pucrs.br/~edir/chp/Aula1/chp_aula1.htm

http://www.em.pucrs.br/~edir/chp/Aula2/chp_aula2.htm

http://www.em.pucrs.br/~edir/chp/Aula3/chp_aula3.htm

http://www.em.pucrs.br/~edir/chp/Aula4/chp_aula4.htm

http://www.em.pucrs.br/~edir/chp/Aula4/Valvulas_de_vazao.htm